

Pengaruh Jenis Presipitan Dan Iradiasi Ultrasonik Pada Katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ Untuk Reaksi Oksidasi Parsial Metana

Widodo W. Purwanto, M. Nasikin dan Indri Hapsari
 Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia
 Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
 Email: widodo@che.ui.edu

Abstrak

Pengaruh presipitan dan ultrasonik pada sintesis katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ telah diuji pada reaktor fixed-bed atmosferik untuk reaksi oksidasi parsial metana. Dua jenis presipitan yang digunakan pada penelitian ini adalah Na₂CO₃ dan NH₄OH, dan waktu iradiasi ultrasonik yang dilakukan adalah 60 menit (1 jam). Luas permukaan ruah, diameter partikel nikel, dispersi nikel dan morfologi katalis dianalisis dengan menggunakan berbagai teknik karakterisasi meliputi BET, XRD, H₂ chemisorption dan SEM. Oksidasi parsial metana menjadi gas sintesis dilakukan pada suhu 800 °C, tekanan atmosferik dan rasio umpan (CH₄/O₂) sebesar 2 : 1,2. Hasil eksperimen yang diperoleh memperlihatkan bahwa katalis yang dipreparasikan dengan menggunakan presipitan NH₄OH memiliki ukuran pori yang lebih besar dibandingkan dengan katalis yang dipreparasikan dengan presipitan Na₂CO₃. Pengaruh ultrasonik menunjukkan bahwa iradiasi ultrasonik meningkatkan luas permukaan katalis dan dispersi nikel. Karakterisasi SEM yang dilakukan menunjukkan perubahan morfologi katalis, yakni partikel katalis menjadi berukuran lebih kecil dan lebih seragam disebabkan oleh iradiasi ultrasonik. Katalis yang dipresipitaskan dengan presipitan NH₄OH dan diberi perlakuan ultrasonik menunjukkan kinerja yang paling baik dengan nilai konversi metana mencapai 96%.

Kata kunci: Presipitan, nickel-based catalyst, ultrasonik dan oksidasi parsial metana

Abstract

The effect of precipitant and ultrasonic over Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ catalyst was studied in an atmospheric fixed-bed reactor for partial oxidation of methane. Two types of precipitant used in this work were Na₂CO₃ and NH₄OH, and the length of ultrasonic irradiation was 60 minutes (1 hour). The bulk surface area, nickel particle diameter, nickel dispersion and morphology of the catalysts were investigated by various characterization techniques, including BET, XRD, H₂ chemisorption and SEM. The partial oxidation of methane to syngas was done at 800 °C, atmospheric pressure and the feed ratio (CH₄/O₂) was 2 : 1.2. It was found that catalysts prepared by using NH₄OH precipitant have pore size that larger than those of catalysts prepared using Na₂CO₃ precipitant. The effect of ultrasonic on the catalysts showed that ultrasonic irradiation enhanced the surface area of the catalyst and the nickel dispersion. SEM analyses shown changes of the catalyst morphology, i.e. the particle of the catalyst became smaller and more uniform because of the ultrasonic irradiation. Catalyst prepared using NH₄OH precipitant and irradiated shown the best performance with 96% methane conversion.

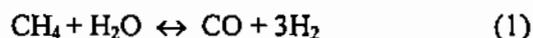
Keyword : Precipitant, nickel-based catalyst, ultrasonic and partial oxidation of methane

1. Pendahuluan

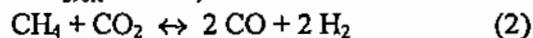
Gas sintesis adalah campuran gas karbon monoksida dan gas hidrogen dalam berbagai komposisi, seperti karbon monoksida murni, hidrogen murni atau campuran keduanya.

Kebutuhan terhadap gas sintesis sebagai produk antara dalam industri petrokimia saat ini meningkat karena gas sintesis dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi berbagai macam bahan kimia dan bahan bakar

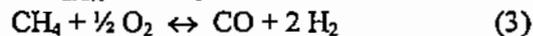
sintesis. Terdapat tiga reaksi utama untuk memproduksi gas sintesis yaitu :



$$\Delta H^\circ_{298\text{K}} = +206,16 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H^\circ_{298\text{K}} = +247,3 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H^\circ_{298\text{K}} = -36 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi (1) dan (2) adalah reaksi reformasi, yakni reaksi reformasi kukus dan

reaksi reformasi CO₂, bersifat endotermik, sedangkan reaksi (3) adalah reaksi oksidasi parsial metana, bersifat eksotermis. Reaksi reformasi kukus membutuhkan energi dalam jumlah besar dan menghasilkan gas sintesis dengan rasio H₂/CO tinggi secara stoikiometris, yaitu 3, sehingga tidak sesuai untuk digunakan pada sintesis metanol dan *Fischer Tropsch* [1]. Reaksi reformasi CO₂ memproduksi gas sintesis dengan rasio H₂/CO yang relatif rendah yaitu sekitar 1 dan lebih bersifat endotermik dibandingkan dengan reaksi reformasi kukus. Reaksi oksidasi parsial metana bersifat eksotermis dan menghasilkan campuran hidrogen dan karbon monoksida dengan rasio dua berbanding satu secara stoikiometris, yang dapat digunakan secara langsung dalam reaksi *Fischer Tropsch* atau sintesis metanol. Reaksi ini merupakan salah satu alternatif dari reaksi reformasi karena reaksinya eksotermis sehingga membutuhkan energi yang lebih kecil, volume reaktor lebih kecil dan memiliki waktu reaksi yang singkat.

Logam transisi baris pertama pada tabel periodik (Ni, Co, Fe) dan logam *noble* (Ru, Rh, Pd, Pt, Ir) merupakan katalis yang aktif untuk reaksi oksidasi parsial metana [2]. Katalis berbasis Ni merupakan katalis yang paling banyak dipelajari untuk reaksi oksidasi parsial metana karena ketersediaannya yang melimpah dan harganya yang relatif murah [2]-[5]. Namun kendala pada katalis ini adalah terjadinya deaktivasi katalis yang sangat cepat karena deposisi karbon pada permukaan katalis, terutama pada loading tinggi. Berbagai usaha telah banyak dilakukan para peneliti untuk memperbaiki kinerja katalis berbasis nikel untuk proses produksi gas sintesis. Diantaranya adalah dengan memperpanjang umur katalis, meningkatkan aktivitas maupun selektivitas katalis melalui metode preparasi, kondisi preparasi katalis dan jenis promotor atau penyangga yang digunakan pada waktu preparasi katalis.

Terdapat beberapa variabel penting pada pembuatan katalis berbasis nikel dengan metode presipitasi. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa pH merupakan variabel paling penting yang harus dikontrol yang dapat mempengaruhi struktur, aktivitas dan selektivitas katalis [6]-[8]. Hidroksida dan

karbonat merupakan jenis presipitasi yang lebih disukai karena tingkat kelarutannya yang rendah, mudah terdekomposisi dan toksisitas serta masalah terhadap lingkungan rendah [5]. Katalis yang dipresipitaskan dengan menggunakan hidroksida sebagai presipitan ditemukan memiliki diameter pori yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan karbonat [6]. Ultrasonik sebagai salah satu bentuk energi di samping energi panas, cahaya dan listrik, merupakan salah satu cara baru dalam mengembangkan katalis yang diharapkan dapat menunjukkan kinerja yang lebih baik. Iradiasi ultrasonik pada katalis dapat menghaluskan struktur kristal dan menyebabkan aglomerasi partikel-partikel kecil [9].

Ultrasonik memiliki frekuensi di atas pendengaran manusia (di atas 16 kHz) [10]. Iradiasi ultrasonik menghasilkan energi reaksi kimia yang sangat tinggi. Ultrasonik berkaitan erat dengan fenomena kavitasi, yaitu peristiwa pembentukan, pertumbuhan dan pengempisan gelembung di dalam cairan. Ultrasonik memiliki energi yang cukup tinggi yang dapat diberikan pada zat lain dalam waktu yang cukup singkat dengan tekanan yang tinggi pula. Tekanan inilah yang akan menimbulkan kavitasi.

Pada penelitian ini akan dibahas pengaruh perbedaan jenis presipitasi dan iradiasi ultrasonik pada katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ yang dipreparasi dengan metode presipitasi untuk reaksi oksidasi parsial metana menghasilkan gas sintesis. Penelitian berkisar pada masalah pengaruh perbedaan jenis presipitasi yang digunakan dan pengaruh iradiasi ultrasonik terhadap karakteristik dan aktivitas katalis.

2. Penelitian

Secara garis besar tahapan penelitian meliputi preparasi katalis, uji aktivasi katalis dan karakterisasi katalis.

2.1. Preparasi Katalis

Penelitian ini menggunakan katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃. Metode preparasi yang digunakan adalah presipitasi dengan menggunakan dua jenis presipitan yakni NH₄OH dan Na₂CO₃. Perlakuan

ultrasonik yang diberikan pada katalis adalah selama 60 menit. Garam - garam nitrat, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2M, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2M, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2M, $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2M dan $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 2 M dicampurkan pada suhu ruang untuk kemudian dicampurkan dengan *deionized water* dan diaduk. Selanjutnya dilakukan titrasi dengan menggunakan presipitan (NH_4OH atau Na_2CO_3) hingga diperoleh pH netral. Kemudian dilanjutkan dengan variasi perlakuan, yakni dengan dan tanpa ultrasonik. Alat ultrasonik yang digunakan adalah generator ultrasonik merk *Sonic Wave Ultrasonic Cleanser*. Selanjutnya endapan katalis dibiarkan semalaman lalu disaring dengan menggunakan *buchner funnel* dan dicuci. Kemudian dilakukan pengeringan dan kalsinasi hingga dihasilkan katalis $\text{Ni/CeO}_2\text{-MgO-La}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$.

2.2. Uji Aktivitas Katalis

Uji aktivitas katalis dimulai dengan menaikkan suhu reaktor (*atmospheric fixed bed reactor*) sampai dengan 700°C sambil dialirkan gas *carrier* Argon (High purity, HP) dengan laju 60 ml/mnt. Kemudian katalis direduksi dengan H_2 (HP) dengan laju 40 ml/mnt selama 1 jam. Selanjutnya suhu reaktor dinaikkan sampai dengan 800°C sambil dialirkan gas Argon. Setelah temperatur reaktor mencapai temperatur reaksi yang diinginkan, umpan dengan perbandingan CH_4 (HP) dan O_2 (HP) sebesar 2 : 1,2 dan total laju alir 150 ml/mnt dialirkan ke dalam reaktor yang berisi katalis. Untuk mengetahui komposisi gas keluaran, reaktor dihubungkan secara *online* dengan kromatografi gas GC-TCD merk SHIMADZU. Sebelum gas keluaran reaktor diambil untuk di analisa di GC, gas tersebut terlebih dahulu dilewatkan melalui sebuah *water trap* yang diisi dengan es untuk menkondensasikan air yang terkandung pada gas keluaran. Laju alir gas keluaran di ukur dengan menggunakan *bubble soap*. Data dari luas peak dan laju alir gas diolah sehingga diperoleh hasil berupa konversi, selektivitas dan rasio produk pada kondisi tertentu.

2.3. Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis yang ingin diketahui adalah luas permukaan, volume pori, kristalinitas diameter partikel, dan dispersi,

yang dilakukan dengan alat analisis: BET, XRD, H_2 *chemisorption* dan SEM. Karakterisasi BET dilakukan dengan Autosorb-6 (Quatachrome). Karakterisasi XRD dilakukan dengan Shimadzu Goniometer VG-208R. Analisis dilakukan dengan menggunakan X-Ray $\text{CuK}\alpha$, jangkauan sudut difraksi $2\theta = 0 - 90^\circ$ dengan kecepatan pengamatan $4,0^\circ/\text{menit}$. Karakterisasi H_2 *chemisorption* dilakukan dengan menggunakan *Chemisorption apparatus*. Analisis SEM dilakukan dengan menggunakan alat merk Leo-420i.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Karakterisasi Katalis

Tabel 1 menunjukkan hasil karakterisasi BET yang dilakukan pada katalis dengan variasi presipitan dan ultrasonik. Terlihat bahwa dengan perpedaan presipitan yang digunakan, diperoleh luas permukaan katalis yang lebih besar bila digunakan NH_4OH sebagai presipitan. Hal ini disebabkan oleh adanya senyawa yang menguap pada saat katalis diberi perlakuan kalsinasi, yakni senyawa NH_3 , sehingga ketika katalis tersebut menguap, ia akan meninggalkan rongga pada struktur katalis yang dapat menyebabkan katalis memiliki porositas yang tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Motjope *et al.* [11] menunjukkan fenomena yang sama tetapi menggunakan katalis besi yang digunakan pada reaksi *Fischer Tropsch* dipresipitaskan dengan menggunakan *precipitating agent* Na_2CO_3 , K_2CO_3 dan NH_4OH .

Tabel 1.
Hasil Karakterisasi BET

Katalis	Luas Permukaan BET (m^2/g)	Volume Pori BET (ml/g)
Dengan Presipitan NH_4OH		
Tanpa ultrasonik	200,3	$7,11 \cdot 10^{-2}$
Ultrasonik	211,5	$7,40 \cdot 10^{-2}$
Dengan Presipitan Na_2CO_3		
Tanpa ultrasonik	49,13	$1,70 \cdot 10^{-2}$
Ultrasonik	87	$3,10 \cdot 10^{-2}$

Dari Tabel 1 dapat dilihat pula pengaruh perlakuan ultrasonik yang diberikan terhadap karakter katalis. Terlihat bahwa katalis dengan perlakuan ultrasonik memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan katalis tanpa perlakuan ultrasonik. Bahkan pada katalis dengan presipitan Na₂CO₃ terlihat peningkatan luas permukaan yang hampir dua kalinya.

Peningkatan luas permukaan dan volume pori katalis disebabkan oleh adanya tumbukan antar partikel yang sangat cepat pada saat katalis diberi perlakuan ultrasonik sehingga memungkinkan pergerakan atom-atom di dalam sistem katalis yang mengakibatkan terbentuknya celah atau rongga-rongga baru sehingga dimensi bahan dan luas permukaan katalis berubah. Perlakuan ultrasonik yang diberikan pada katalis adalah 60 menit karena waktu tersebut adalah waktu iradiasi yang optimal [9], [12].

Tabel 2 menunjukkan diameter partikel nikel yang diperoleh dari karakterisasi XRD. Karakterisasi XRD yang dilakukan tidak memberikan perbedaan diameter nikel yang signifikan antara katalis yang dipreparasi dengan perbedaan jenis presipitan maupun dengan penambahan perlakuan ultrasonik.

Tabel 2.
Hasil Karakterisasi XRD

Katalis	Diameter Partikel Ni (nm)
Presipitan Na ₂ CO ₃ , tanpa ultrasonik	1,4481
Presipitan NH ₄ OH, tanpa ultrasonik	1,4488
Presipitan NH ₄ OH, ultrasonik	1,4485

Tabel 3.
Hasil Karakterisasi Chemisorption

Katalis	Dispersi Ni (%)
Dengan Presipitan Na ₂ CO ₃	
Tanpa ultrasonik	3,59
Ultrasonik	3,63
Dengan Presipitan NH ₄ OH	
Tanpa ultrasonik	3,59
Ultrasonik	3,64

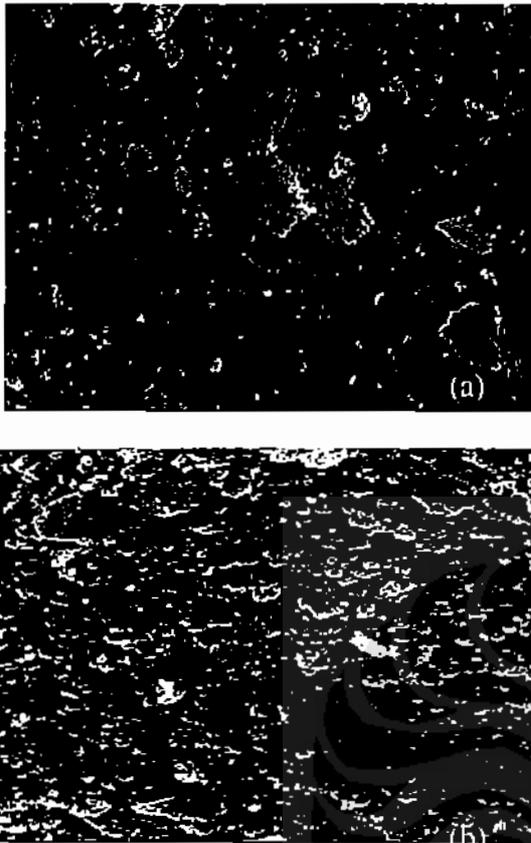
Hasil karakterisasi *chemisorption* (Tabel 3) yang dilakukan menunjukkan bahwa katalis yang dipreparasi dengan menggunakan presipitan berbeda yaitu Na₂CO₃ dan NH₄OH, menunjukkan % dispersi nikel yang sama (tanpa perlakuan ultrasonik). Sedangkan pada katalis yang dipreparasi dengan perlakuan ultrasonik terjadi peningkatan dispersi, yaitu pada katalis dengan presipitan Na₂CO₃ dispersi meningkat dari 3,59% menjadi 3,63% dan pada katalis dengan presipitan NH₄OH dispersi meningkat dari 3,59% menjadi 3,64%. Hal ini disebabkan karena perlakuan ultrasonik memungkinkan pergerakan atom yang sangat cepat sehingga mengurangi terjadinya pengelompokan inti aktif nikel. Peningkatan dispersi ini diharapkan dapat memberikan kinerja katalis yang lebih baik sebagaimana akan dibahas pada hasil uji aktivitas katalis.

Pada karakterisasi *chemisorption* ini gas yang digunakan adalah H₂ (hidrogen) karena diketahui bahwa nikel memiliki daya adsorpsi kimia terhadap hidrogen baik, sehingga hidrogen biasa digunakan untuk proses *chemisorption* logam Ni atau Pt [5]. Dispersi nikel dapat dihitung dengan membandingkan banyaknya partikel Ni yang berada di permukaan dengan total partikel Ni yang ada.

Analisa SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ yang dipreparasikan dengan menggunakan presipitan NH₄OH dengan dan tanpa perlakuan ultrasonik. Hasil karakterisasi SEM (perbesaran 5000x) dapat dilihat pada Gambar 1.

Imej SEM yang dihasilkan menunjukkan bahwa katalis dengan perlakuan ultrasonik memiliki *granule* yang lebih halus dan merata dibandingkan dengan katalis tanpa perlakuan ultrasonik. Bentuk *granule* katalis dengan perlakuan ultrasonik terlihat lebih homogen dan memiliki ukuran yang seragam. Sedangkan pada katalis tanpa perlakuan ultrasonik terlihat bahwa katalis memiliki ukuran yang tidak seragam dan tersebar tidak merata. Ukuran partikel yang lebih kecil, lebih seragam dan lebih halus ini disebabkan oleh fenomena kavitasi yaitu peristiwa pembentukan, pertumbuhan dan pengempisan

gelembung di dalam cairan yang terjadi pada saat katalis diberi perlakuan ultrasonik.



Gambar 1.
Imej SEM (Perbesaran 5000x)
(a) Tanpa Ultrasonik, (b) Ultrasonik

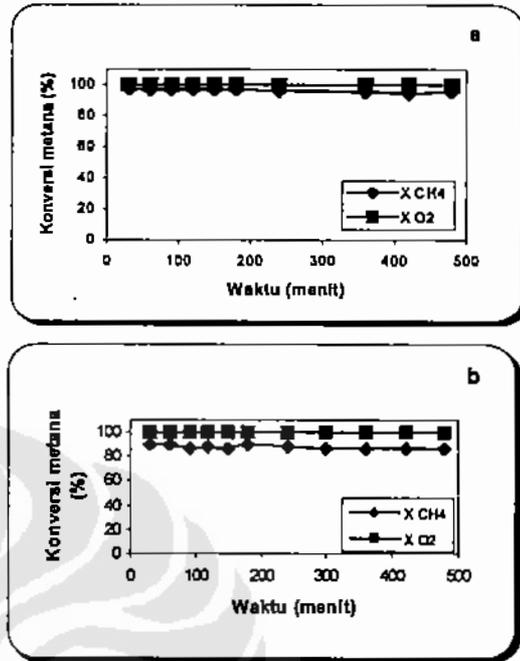
3.2. Hasil Uji Aktivitas Katalis

Katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ yang telah dipreparasi dengan variasi presipitan dan perlakuan ultrasonik kemudian diuji aktivitas dan stabilitasnya.

Gambar 2 menunjukkan hasil uji aktivitas katalis dengan variasi presipitan dan penambahan perlakuan ultrasonik yang dilakukan pada kondisi suhu 800°C, tekanan atmosferik, rasio umpan (CH₄/O₂) = 2 : 1,2 dan W/F = 0,4 gram.det/L. Hasil uji aktivitas ditunjukkan dengan harga konversi metana selama 8 jam reaksi.

Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan penggunaan presipitan NH₄OH diperoleh aktivitas katalitik yang lebih baik (konversi metana = 96%). Sedangkan pada penggunaan presipitan Na₂CO₃ hanya diperoleh konversi

metana sebesar 88%. Konversi oksigen hasil reaksi selalu mencapai 100% karena merupakan reaktan pembatas.



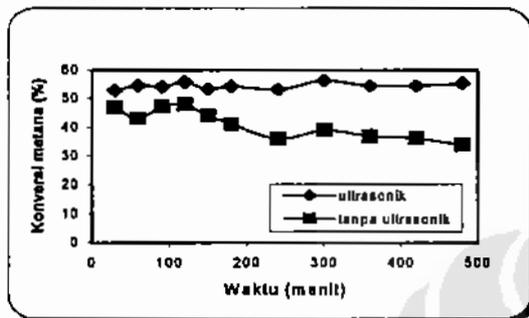
Gambar 2
Hasil Uji Aktivitas Katalis Dengan Perlakuan Ultrasonik dan Variasi Presipitan
(a) NH₄OH (b) Na₂CO₃

Katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ yang dipreparasi dengan NH₄OH sebagai presipitan dan diberi perlakuan ultrasonik memberikan konversi metana 96%, dimana harga ini mendekati harga konversi kesetimbangan yaitu 97,1% (nilai konversi kesetimbangan ini diperoleh dari simulasi dengan menggunakan *software* ChemCad pada kondisi reaksi yang sama).

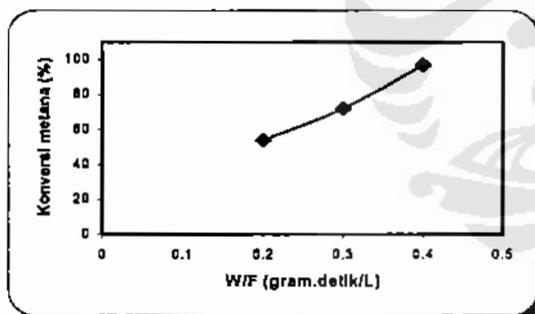
Gambar 3 menunjukkan hasil uji aktivitas katalis dengan variasi perlakuan ultrasonik. Hasil uji aktivitas katalitik ditunjukkan dengan % konversi metana selama 8 jam reaksi, menggunakan presipitan NH₄OH, pada kondisi suhu reaksi 800°C, tekanan atmosferik, rasio umpan (CH₄/O₂) = 2 : 1,2 dan W/F = 0,2 gram.det/L.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa katalis dengan perlakuan ultrasonik akan mengalami peningkatan aktivitas katalitik yang lebih baik. Konversi yang dihasilkan pada kondisi

ini masih rendah, yaitu sekitar 40 – 60%, yang disebabkan karena kondisi reaksi yang digunakan, waktu tinggal katalis sama dengan 0,2 gram.detik/l. Pada rasio waktu tinggal ini, waktu kontak antara reaktan dengan katalis kecil, sehingga kesempatan reaktan untuk saling bertemu dan melakukan aksi sedikit. Apabila nilai rasio waktu tinggal katalis diperbesar maka waktu kontak antara reaktan dengan katalis juga semakin lama, sehingga kesempatan reaktan untuk saling bertemu dan melakukan aksi semakin besar.



Gambar 3
Hasil Uji Aktivitas Katalis
Dengan Variasi Perlakuan Ultrasonik



Gambar 4.
Efek Rasio W/F Terhadap Aktivitas Katalis

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu tinggal terhadap aktivitas katalis maka dilakukan uji aktivitas katalis pada beberapa waktu tinggal yaitu 0,2, 0,3 dan 0,4 gram.detik/L. Hasil uji aktivitas ditunjukkan pada Gambar 4.

Uji aktivitas dilakukan pada katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ yang dipreparasikan dengan NH₄OH sebagai presipitan dengan perlakuan ultrasonik, pada suhu reaksi 800°C, tekanan atmosferik dan rasio umpan (CH₄/O₂) = 2 : 1,2. Harga

konversi metana yang didapatkan adalah harga rata – rata selama 8 jam reaksi.

Konversi metana yang tinggi dapat diperoleh dengan menaikkan rasio waktu tinggal (W/F) atau dengan meningkatkan temperatur reaksi. Dengan waktu tinggal yang semakin besar terlihat bahwa katalis menunjukkan kinerja yang semakin baik, sedangkan konversi oksigen hasil reaksi selalu 100% karena merupakan reaktan pembatas. Pada rasio waktu tinggal 0,2 gram.detik/l terlihat bahwa pada kondisi reaksi (suhu, tekanan dan rasio umpan) yang sama, konversi metana yang dihasilkan hanya sebesar 54%. Dengan meningkatkan rasio waktu tinggal hingga 0,4 gram.detik/l diperoleh konversi metana sebesar 96%. Ini memperlihatkan peningkatan yang sangat signifikan. Akan tetapi suatu saat harga konversi akan relatif konstan (mencapai kesetimbangan), meskipun harga rasio waktu tinggal diperbesar terus. Hal ini dimungkinkan karena reaktan yang tersisa sudah tidak mampu lagi untuk bereaksi lebih lanjut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Katalis dengan presipitan NH₄OH menunjukkan kinerja yang lebih baik bila dibandingkan dengan katalis dengan presipitan Na₂CO₃.
2. Iradiasi ultrasonik pada katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ mempengaruhi struktur molekul katalis sehingga meningkatkan luas permukaan katalis. Perlakuan ultrasonik yang diberikan menghasilkan ukuran *granule* katalis yang lebih kecil dan lebih seragam.
3. Kinerja paling baik diperlihatkan oleh katalis Ni/CeO₂-MgO-La₂O₃/Al₂O₃ yang dipreparasi dengan presipitan NH₄OH dan mengalami perlakuan ultrasonik. Katalis ini pada kondisi tekanan atmosferik, suhu 800°C, rasio umpan (CH₄/O₂) = 2 : 1,2 dan waktu tinggal 0,4 gram.detik/l menghasilkan konversi metana sebesar 96%, yang mendekati konversi kesetimbangan yaitu 97,1%.

Daftar Acuan

- [1]. Hatch, Lewis F. *From Hydrocarbons to Petrochemical*. Gulf Publishing Company, Houston, (1981).
- [2]. Chen, Yang-Guang, Keiichi Tomishige, Kota Yokohama, Kaoru Fujimoto. *Journal of Catalysis*, (1999), Vol. 184, No. 2, pp. 479-490.
- [3]. Ruckenstein, E., Y.H. Hu. *Ind. Eng. Chem. Res.* (1988) Vol. 37, No. 5, pp. 1744-1747.
- [4]. Zhang, Yuhong, Guoxing Xiong, S.Sheng, W. Yang. *Catalysis Today*, (2000), Vol. 63, pp. 517-522.
- [5]. Satterfield, Charles N. *Heterogenous Catalysis in Industrial Practice*. McGraw Hill Inc., Singapore, (1991).
- [6]. Dry, M.E., in: J.R. Anderson, M. Boudart. *Catalysis Science and Technology*, Vol. 1, pp. 151. Springer, New York, (1981).
- [7]. Diffenbach, R.A., D.J. Fauth. *Journal of Catalysis*, (1986), Vol. 106, pp. 466.
- [8]. Rao, V.U.S., G.J. Stiegel, G.J.Cinquegrane, R.D. Srivastava. *Fuel Process*, (1992), Vol. 30, pp. 83.
- [9]. Rahman, M. Suhaeri. *Skripsi SI*. TGP-FTUI, (2001).
- [10]. Suslick, Kenneth S, *Scientific American*, Scientific American, pp. 80-86. (1989).
- [11]. Motjope, T.R., H.T. Dlamini, G.R. Hearne, N.J. Coville. *Catalysis Today*, (2000), Vol. 41, pp. 335-341.
- [12]. Wahid, Abdul, M. Nasikin, M. Suhaeri R. *Jurnal Teknologi*, (2001), Edisi No. 4, Th. XV, hal. 419-425.